

## OPONENTSKÝ POSUDEK DISERTAČNÍ PRÁCE

Název: Hodnocení vlivu strukturní heterogenity na pevnost svarových spojů vysokopevnostních ocelí

Autor: Ing. Petr Hanus

Školitel: Prof. Ing. Eva Schmidová, Ph.D.

Oponent: Prof. Dr. Ing. Antonín Kříž

Předložená disertační práce vypracovaná Ing. Petrem Hanusem má 112 stran a 4 strany samostatné přílohy. Práce je členěna do jedenácti kapitol a doplněna seznamem použité literatury. Práce se zabývá návrhem a ověřením metodiky hodnocení lokálních strukturních heterogenit svarových spojů, se zaměřením na pásma degradace výchozích mechanických parametrů dvou aktuálně používaných typů vysokopevnostních ocelí (martenzitické oceli 22MnB5 a dvoufázové oceli DP680). Dalším cílem práce je experimentálně vyhodnotit vliv rychlosti deformace na dynamickou pevnost kritických vrstev svarového spoje těchto ocelí.

V úvodní kapitole jsou stručně uvedeny souvislosti mezi aplikací materiálů pro osobní automobily a požadovanými vlastnostmi. Z nich pak vychází cíle disertační práce. Cíle jsou dále popsány ve druhé kapitole na straně 30 – 31. Do úvodu měla být zařazena i část první kapitoly pojednávající o současném stavu řešené problematiky a o používání konkrétních vysokopevných ocelí. Tímto rozdrobením informací došlo ke zhoršení přehlednosti a místy ke ztrátě souvislostí. Diskutabilní je použití 9 citací v odstavci, který obsahuje 10 řádek textu. Není jasné, jak s tímto odstavcem souvisí citace [8] (QUINTO, L., COSTA, A., MIRANDA, R., YAPP, D., KUMAR, V., KONG, C.J.: Welding with high power fiber lasers – a preliminary study. *Mats Des* 2007;28:1231–7), pojednávající o vývoji výkonových laserů a svařování ropovodu. V první kapitole se dále popisuje indentační metody. Tuto oblast považuji za velmi zdařilou, autor stručně, avšak vhodným způsobem popisuje stav současného poznání. Rovněž citované práce jsou v jasné vazbě na dané téma. Výhradu bych měl k popisu lomové houževnatosti (str. 26), která vychází z citace [33]. Tato citace je ve vazbě na lomovou houževnatost DLC vrstev ( $E_{int}$  je elastický modul rozhraní definovaný podle Hutchinsona a Suoa a  $E_f$  a  $E_s$  jsou elastické moduly vrstvy a substrátu). Více je uvedeno v kapitole/článku Toonder den J. et al.: Fracture toughness and adhesion energy of sol-gel coatings on glass, *Journal of material research*, 17(1):224–233, 2002 (kniha *Thin Films and Coatings*).

Jak již bylo uvedeno, ve druhé kapitole jsou uvedeny cíle disertační práce, které jsou více rozepsány a to ve vazbě na experimenty a analýzy.

Třetí kapitola popisuje charakteristiku studovaných ocelí. Pro experimentální studii byla zvolena sada 4 ocelí, které mají buď zvýšenou mez kluzu (S355 – v označení chybí NC nebo

MC) nebo spadají do kategorie vysokopevných ocelí (DOMEX 700MC; DP680; 22MnB5). Ve vazbě na ocel S355 by bylo vhodné, kdyby při obhajobě bylo uvedeno porovnání vlastností ocelí ve stavu po normalizaci a po termomechanickém válcování. V této kapitole jsou uvedeny nejen vlastnosti, ale i strukturní stav. Větším přínosem disertační práce by bylo, kdyby byly tyto vlastnosti a strukturní stavy dány do vazby se svařováním a iniciovanými změnami. V určitém náznaku je to uvedeno v kapitole 4. V této kapitole není uveden uhlíkový ekvivalent, ale svařitelnost je vztažena pouze na přítomnost uhlíku (bylo by dobré zahrnout alespoň vliv manganu – v ekvivalentu je počítán jako podíl  $\%Mn/6$  – u těchto ocelí je vyšší koncentrace manganu –  $1,1 \div 1,4 \%Mn$  – 22MnB5; max.  $2,1 \%Mn$  – DOMEX 700MC). Vhodně je uvedena charakteristika svařování jednotlivých ocelí a to i ve vazbě na degradační procesy. Pouze u mikrolegované oceli DOMEX 700MC měl autor věnovat větší pozornost vlivu precipitátů, které jsou zde rozhodující (termomechanické zpracování není prováděno kvůli dislokačnímu zpevnění, ale pro dosažení jemné struktury a vzniku precipitátů rozptýlených ve struktuře s požadovanou velikostí). Na straně 41 je uvedena nedestruktivní metoda hodnocení bodového svaru ultrazvukem. Při obhajobě disertační práce doporučuji tuto metodu více popsat.

V páté kapitole autor popisuje analýzy výchozího stavu použitých ocelí. Za zajímavé se mi jeví použití skutečné meze kluzu ve vazbě na hodnocení metodou nejmenších čtverců. Jedná se o statistické zpracování výsledků a není důvod, proč by se měl zavádět nový symbol „Rs“, který není podložen normou. Z provedených experimentů není jasné, zda byla sledována i dynamika ohřevu, neboť ta je stejně důležitá, jako rychlost ochlazení. Její důležitost vzrůstá při vysokých rychlostech ohřevu. Princip ohřevu odpovídal normalizačnímu žhání (1000 °C je již vyšší teplota, avšak s ohledem na 20 min ohřevu nelze zjistit dynamiku ohřevu, není jasné, jak došlo k prohřátí a k fázové transformaci v celém průřezu). Strukturnímu stavu se měla věnovat větší pozornost. Chybí také informace o výchozím polotovaru, neboť S355 má mít min. mez kluzu 355 MPa pro nejmenší dodávaný profil. Jak si vysvětlujete, že u tepelně neovlivněné oceli DOMEX 700MC je průměrná hodnota meze kluzu pouze 630 MPa? Pro názornost změny by bylo vhodné uvést všechny průběhy pracovního tahového diagramu do jednoho grafu (pro DOMEX 700 MC). Na obr. 27 je zachycena lomová plocha, která prokazuje přítomnost segregáčního pásu. Byla oblast segregáčního pásu věnována pozornost i z hlediska popisu strukturního stavu a změn chování po teplotní exploataci?

Kapitola 6 popisuje hodnocení meze kluzu pomocí indentační metody. Přínosem je vlastní konstrukční návrh indentačního tělesa i jeho odzkoušení. Na obr. 36 je výkres indentačního nástroje, chybí zde průměr, který vniká do zkoušeného materiálu. Dále se v textu uvádí, že byl odzkoušen průměr 1,3 mm a u materiálů s vyšší pevností bylo tělíčko upraveno na průměr 0,2 mm. Přestože došlo k uvedenému snížení plochy (průměru), jak by se do výsledku promítla heterogenost strukturního stavu v místě skutečného svaru? V experimentu (kapitola 7) byl použit v peci ovlivněný materiál a korelace se svarem byla provedena pouze u oceli S355, u ostatních ocelí byla provedena pouze prostřednictvím měření tvrdosti dle Vickerse.

Kapitola 8 pojednává o dynamických tahových zkouškách. Experiment v této kapitole je velmi dobře a přehledně popsán. Není jednoznačné, proč u ocelí DOMEX 700MC a S355 bylo provedeno hodnocení dynamické pevnosti pouze ve výchozím stavu (např. u oceli DOMEX 700MC je mez kluzu  $R_{p0,2}$  neovlivněných vzorků 630 MPa a u vzorků po tepelné exploataci 254 MPa – str. 49). Výsledky fraktografické studie by měly



být dány do souvislosti i s výsledky metalografické analýzy, v níž se měla věnovat i pozornost nejen změně strukturních fází, ale i velikosti zrna a popř. stavu hranic zrn. Za pozitivní hodnotím porovnání lomových ploch s výsledky dynamických zkoušek (množství spotřebované energie do lomu).

9. kapitola obsahuje souhrnné vyhodnocení. Zabývá se jednotlivými materiály podle provedených zkoušek, jejichž výsledky následně porovnává s již publikovanými výsledky jiných autorů. Toto porovnání je velkým přínosem celé práce, neboť je tím vyzdvížena její odborná úroveň a to nejen z hlediska korelace jednotlivých výsledků s jinými autory, ale i proto, že ukazuje široký doktorandův rozhled a orientaci v dané problematice. Dalším velkým pozitivem práce je, že na základě provedených analýz a získaných zkušeností byl proveden návrh postupu pro hodnocení vlivu svařování (kapitola 10). V závěrečné kapitole jsou shrnuty výsledky a dosažená poznání a to ve vazbě na vytyčené cíle disertační práce.

V seznamu použité literatury je uvedeno 68 položek. Jedná se o aktuální zdroje, které poskytují všechny potřebné informace k dané problematice. Přínosem je, že autor čerpal i ze svých publikací, čímž je prokázána i jeho vlastní publikační činnost.

Disertační práce Ing. Petra Hanuse prokazuje vědecké schopnosti kandidáta. Doporučuji proto, aby byl připuštěn k obhajobě a aby mu po úspěšné veřejné rozpravě a správném zodpovězení položených dotazů byl udělen titul Ph.D. (dle zák. č. 111/1998 Sb. § 47).

#### **Otázky k obhajobě:**

Vedle uvedených dotazů přímo v textu mám ještě následující otázky.

Proč byly mechanické hodnoty výchozích ocelí S355 a DOMEX 700MC nižší, než udávají materiálové listy? Jakým způsobem byly vyrobeny použité polotovary a u kontinuálně litých ocelí, jak byla zohledněna přítomnost segregáčního pásu?

Za jakých podmínek by bylo možné z provedených indentačních měření zjistit i další materiálové charakteristiky, konkrétně tažnost, která je rovněž důležitým ukazatelem změny struktury v důsledku tepelného ovlivnění svarovým spojem.

V Plzni, 29. února 2016



Prof. Dr. Ing. Antonín Kříž